

FATORES DE CORREÇÃO PARA DOSÍMETROS CLÍNICOS
UTILIZADOS EM DOSIMETRIA
DE CAMPOS GRANDES

Leticia L. Campos e Linda Y.E. Caldas

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
Cx.P. 11049, CEP 05499, São Paulo

INTRODUÇÃO

A eficácia de um tratamento de radioterapia está diretamente relacionada com a quantidade de energia depositada no tumor. Uma variação de somente 5% desta quantidade pode conduzir a mudanças clinicamente observáveis do efeito da irradiação, havendo uma rápida diminuição da possibilidade de cura à medida que esta quantidade se afasta de um valor ótimo. Portanto, é de extrema importância uma quantificação, tão exata quanto possível, desta quantidade de energia.

Uma dosimetria acurada com uma incerteza de $\pm 5\%$ pressupõe o uso hábil de um dosímetro calibrado apropriadamente e de um profundo conhecimento dos aspectos básicos de dosimetria.

A terapia de Irradiação de Corpo Inteiro (ICI) já vem sendo usada há 5 décadas. Nos casos de câncer muito avançado são aplicadas doses de 1 a 3 Gy de uma só vez ⁽¹⁾. Nos casos de leucemia os pacientes são irradiados com doses de 8 a 10 Gy ⁽¹⁾ fracionadamente antes do transplante de medula. No caso de metástases ósseas disseminadas são utilizadas irradiações de Meio Corpo (MC) ⁽⁹⁾. No tratamento de lesões superficiais, como a micose fungóide, é utilizada a técnica de Terapia com Elétrons de Toda Superfície (TETS) ^(2,12).

Existe uma grande variedade de técnicas e diferentes métodos e critérios para o cálculo das doses aplicadas ^(2,6,9,11,12,22). Como todos os métodos consistem no emprego de campos grandes de irradiação e distâncias fonte-superfície superiores a 110 cm, é fundamental que os parâmetros dosimétricos para cada aparelho utilizado sejam especialmente avaliados.

A dosimetria dos feixes de radiação de uma unidade de tratamento de radioterapia consiste no exame das suas características, tais como energia da radiação, homogeneidade do feixe, comportamento da dose profunda e determinação da taxa de exposição ou dose absorvida, como função do tempo de irradiação.

A determinação da dose absorvida em feixes de fótons de energia alta e de elétrons pelos usuários é feita com câmaras de ionização, segundo um procedimento consistindo de duas etapas⁽¹⁹⁾: primeiro, a câmara de ionização é calibrada para uma qualidade de referência do usuário em um laboratório de padronização; segundo, a câmara é usada para determinar a dose absorvida do feixe de radiação do usuário.

Alguns fatores de conversão e correção devem ser aplicados. São necessários diferentes conjuntos de fatores dependendo de qual grandeza física se refere a calibração, da geometria da calibração e o formato da câmara⁽¹⁹⁾.

Um detalhe que somente foi observado mais recentemente é o fato de que nas geometrias de campos grandes, não só a haste mas parte do cabo da câmara está posicionada no feixe de radiação. Desse modo, é necessária a introdução de um novo fator, que se refere às correções para o efeito da irradiação dos cabos^(4,5,18) e conectores das câmaras de ionização.

IRRADIAÇÃO DE CABOS

Um dosímetro completo consiste de quatro partes: a câmara de ionização, a fonte de tensão para polarizar os eletrodos da câmara, um eletrômetro incluindo um sistema de leitura e um cabo inter-conector pelo qual a corrente gerada na câmara vai para o eletrômetro.

Ao se irradiar o cabo da câmara de ionização, somente o que ocorrer no eletrodo central e no isolante é que será detectado pelo eletrômetro.

De um modo geral o efeito produzido pela irradiação dos cabos das câmaras de ionização pode ser separado em dois componentes. Um é geralmente uma corrente direcional negativa, proporcional à intensidade da radiação, o qual é induzido no condutor central. É comumente chamado de corrente Compton (I_C) gerada por fotoelétrons ou elétrons Compton que possuem um componente na direção dos fótons incidentes^(10,15). O segundo efeito é a condutividade induzida no dielétrico pela radiação^(3,7,8,14,15,16,21).

devida ao movimento de elétrons livres em direção ao eletrodo quando da aplicação de um campo elétrico externo.

Macroscopicamente, a corrente induzida no material está relacionada com a taxa de dose absorvida por uma expressão do tipo:

$$\sigma \propto \dot{D}^{\Delta}$$

onde

Δ é uma característica do material irradiado.

A fuga de corrente que ela representa (I_{σ}) é positiva ou negativa dependendo da polaridade da tensão aplicada entre o condutor central e a blindagem interna, e tem intensidade proporcional à tensão aplicada.

A corrente de fuga total (I) medida ao se irradiar cabos e/ou conectores será dada por:

$$I = -I_c \pm I_{\sigma}$$

A presença dos dois efeitos causa uma certa dificuldade em se determinar a magnitude de cada contribuição separada.

O objetivo do presente trabalho é a sugestão de um método a ser aplicado pelos físicos hospitalares para a avaliação do efeito da irradiação de cabos e conectores das câmaras de ionização e a consequente determinação dos fatores de correção adequados para cada sistema de medida ou geometria durante a realização da dosimetria de campos grandes de radiação.

O método empregado neste trabalho foi o de determinar e estudar o efeito global das duas correntes quando se irradiam os cabos e conectores das câmaras tanto com fótons como com elétrons.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efeito da irradiação dos cabos das câmaras de ionização foi medido na geometria de dosimetria de campos grandes de radiação, por meio

da medida do tempo de controle das câmaras para a radiação de referência da fonte de ^{90}Sr , com e sem a irradiação dos cabos. Determinou-se um fator de cabo (f), dado por:

$$f = \frac{T_r}{T_p}$$

onde

T_r é o valor do tempo de controle, com o cabo sob irradiação;

T_p é o valor do tempo de controle padrão, sem irradiação do cabo.

Tanto T_r como T_p representam a média de 10 medidas de tempo de controle.

Foi também medida a corrente de fuga do sistema, com e sem a irradiação dos cabos. Foi determinado o fator de fuga (F) dado por:

$$F = \frac{L_p}{L_r}$$

onde

L_p é a leitura do dosímetro antes da irradiação do cabo;

L_r é a leitura do dosímetro imediatamente após o término da irradiação do cabo.

Tanto L_p como L_r representam a média de 10 medidas de corrente de fuga.

Todos esses testes foram efetuados sob condições padrões de dosimetria, utilizando todos os parâmetros fornecidos pelos usuários.

O equipamento utilizado foi o seguinte:

a) Uma câmara do tipo dotal, de $0,6 \text{ cm}^3$ de volume, da Nuclear Enterprises

- (NE), modelo 2505, com uma tensão aplicada de - 300V, denominada câmara 1;
- b) Duas câmaras do tipo dedal, de $0,6 \text{ cm}^3$ de volume, (NE), modelo 2505/3, com uma tensão aplicada de - 300 V, denominadas câmaras 2 e 3;
- c) um eletrômetro tipo Baldwin Farmer (NE), modelo 2502/3;
- d) Uma fonte padrão (NE) de ^{90}Sr (0,37 GBq);
- e) Um cabo de extensão NE modelo 2509/3.

As irradiações foram feitas utilizando um acelerador linear clínico Philips SL 75/10, Holanda, pertencente ao Hospital Sírio-Libanês, São Paulo, com um feixe de fótons de 8 MeV e de elétrons com energia máxima de 10 MeV.

As condições experimentais de irradiação na geometria do feixe de fótons e elétrons para ICI e TETS respectivamente são fornecidas na Tabela I. A distância fonte-superfície foi sempre 300 cm.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os estudos efetuados para irradiações de cabos e conectores com tamanhos de campo convencionais utilizados em radioterapia^(4,5) mostraram que o efeito é exclusivamente devido à ocorrência de uma corrente de fuga cujas principais características são:

- a) cada câmara apresenta uma sensibilidade diferente;
- b) a dependência energética tanto para irradiação com fótons como com elétrons é bastante acentuada e característica para cada cabo;
- c) o fator de cabo ou de fuga é proporcional ao comprimento de cabo irradiado;
- d) a dependência do fator de cabo ou de fuga em relação à taxa de dose
-

absorvida obedece a uma relação do tipo:

$$f \propto \dot{D}^{\Delta} \quad \text{ou} \quad F \propto \dot{D}^{\Delta}$$

para irradiação com fótons

$$e \quad f \propto \dot{D}^{-\Delta} \quad \text{ou} \quad F \propto \dot{D}^{-\Delta}$$

para irradiação com elétrons

onde Δ deve ser determinado experimentalmente;

e) considerando a expressão geral

$$I = -I_c + I_{\sigma}^{\pm}$$

no caso em questão em que a tensão aplicada é negativa, tem-se:

$$I = -I_c + I_{\sigma}^{-}$$

Para irradiação com fótons, se $I_c > I_{\sigma}^{-}$ então resulta:

$$I_r > I_p$$

e portanto:

$$f > 1 \quad \text{ou} \quad F > 1$$

Para irradiação com elétrons, I_c é desprezível, então

$$I = I_{\sigma}^{-}$$

o que resulta:

$$L_p < L_r$$

e portanto:

$$f < 1 \quad \text{ou} \quad F < 1$$

TABELA I

Condições Experimentais de Irradiação do Cabo das Câmaras na Condição de Dosimetria de Feixe de Fótons e Eléctrons para ICI e TETS. Distância Fonte-Superfície: 300 cm.

Radiação	Energia MeV	Tamanho de Campo cm x cm	Comprimento de Cabo Irradiado cm	Dose Absorvida no Ar 10^{-2} Gy	Tempo de Irradiação s
Fótons	Efetiva				
	2,6	96 x 96	96	4,73	30,50
	2,6	48 x 48	48	4,73	30,50
Eléctrons	Média				
	4,0	96 x 96	96	33,0	88,40
	4,0	48 x 48	48	33,0	88,40

Dos resultados obtidos da irradiação dos cabos das câmaras em campos grandes de radiação com fótons e elétrons para determinação dos fatores de cabo e de fuga são fornecidos os relativos à câmara 2 na Tabela II.

TABELA II

Fatores Obtidos na Irradiação do Cabo da Câmara 2
nas Condições de Dosimetria do Feixe de Fótons e Elétrons
para ICI e TETS.

Radiação	Comprimento de Cabo Irrradiado cm	f	F
Fótons	96	1,009 ± 0,001	1,009 ± 0,001
	48	1,005 ± 0,001	1,005 ± 0,001
Elétrons	96	0,973 ± 0,001	0,973 ± 0,001
	48	0,986 ± 0,001	0,986 ± 0,001

Como esperado, o efeito é significativo, embora as taxas de dose absorvida no ar sejam bem menores do que nos casos de irradiações em campos convencionais.

Para uma mesma geometria e condições experimentais de irradiação, os fatores de cabo e fuga apresentam os mesmos valores. No caso de irradiação com elétrons, os efeitos são superiores quando comparados com os efeitos obtidos nas irradiações com fótons.

Pelos resultados obtidos e considerando-se as principais características determinadas para irradiação em campos convencionais, conclui-se que as interações da radiação fora do volume sensível da câmara

resultam num sinal que é acrescido ao sinal coletado no volume da câmara. Este sinal aumenta no caso de irradiações com elétrons e diminui no caso de irradiações com fótons.

Como a corrente de fuga é função da interação da radiação com o material dielétrico interno do cabo triaxial, resulta que a intensidade da corrente de fuga depende do tipo, da pureza e da espessura do isolante de cada cabo, sendo portanto característica para cada equipamento. Desse modo é necessária a determinação de fatores de correção para irradiação de cada cabo de câmara em particular.

MÉTODO RECOMENDADO

O método recomendado para os físicos hospitalares consta de duas etapas: determinação do fator de haste e determinação do fator de cabo.

1. Determinação do Fator de Haste

A determinação do fator de correção de haste pode ser feita seguindo-se o procedimento usual. Isto é feito utilizando-se campos de radiação retangulares, com um dos lados mantido fixo e variando-se a dimensão do outro. As medidas são efetuadas com a câmara nas posições vertical e horizontal, de modo a irradiar no primeiro caso sempre o mesmo comprimento da haste da câmara e no segundo caso, comprimentos diferentes da haste. O fator de correção será dado pelo quociente entre as leituras do dosímetro para as irradiações dos tamanhos de haste diferentes e para as irradiações do tamanho fixo da haste.

Os tamanhos de campo utilizados podem ser os convencionais, empregados em radioterapia. Recomenda-se que esse tipo de medida seja efetuada para diferentes taxas de exposição, para uma maior exatidão dos fatores obtidos, uma vez que a sua dependência com a taxa de exposição não é conhecida.

2. Determinação do Fator de Cabo

Para a determinação do fator de cabo, sugere-se que seja efetuada uma curva de dependência do fator de cabo em função da taxa de exposição (ou da dose absorvida no ar), à energia de radiação que se vai utilizar.

Essa curva pode ser determinada de duas maneiras:

- a) medindo-se os tempos de controle com a câmara posicionada dentro da fonte de referência, com e sem a irradiação do cabo da câmara;
- b) medindo-se a corrente de fuga após uma irradiação prévia da câmara, com e sem a presença de radiação incidente no cabo da câmara.

Em ambos os casos todos os demais parâmetros devem ser mantidos constantes.

Como o efeito é linear em relação ao comprimento de cabo irradiado, essas medidas podem também ser efetuadas para os tamanhos de campo padrão; os resultados podem ser extrapolados para maiores comprimentos de cabos irradiados.

No primeiro caso, o fator de cabo é dado pelo quociente entre a média dos tempos de controle obtidos durante a irradiação simultânea do cabo e sem a irradiação dele. No segundo caso, o fator de fuga de cabo é dado pelo quociente entre a leitura do dosímetro sem irradiação do cabo e a leitura do dosímetro após a irradiação do cabo.

Obtendo-se a curva de dependência do fator de cabo em função da taxa de exposição (ou da dose absorvida) pode-se determinar o parâmetro Δ da expressão $f = D^\Delta$, o que possibilita obter o fator de correção para irradiação de cabo, para qualquer taxa de exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGET, H.; VAN DYK, J.; LEUNG, P.M.K. Utilization of a high energy photon beam for whole body irradiation. Radiology, 123(3):747-51, 1977.

2. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. Total skin electron therapy: technique and dosimetry. New York, N.Y., 1988. (AAPM report, 23).
 3. ARMISTEAD, F.C.; PENNOCK, J.C.; MEAD, L.W. Conductivity changes in dielectrics during 2.5 MeV X-radiation. Phys. Rev., 76:860, 1949.
 4. CALDAS, L.V.E.; REGULLA, D.F.; PYCHLAU, P. Ionization chamber extension cables: radiation effects. Appl. Radiat. Isotopes, 40(1): 93-94, 1989.
 5. CAMPOS, L.L. & CALDAS, L.V.E. Induced effects in ionization chamber cables by photon and electron irradiation. Medical Physics (Submetido para publicação).
 6. D'ANGIO, G.J. Total body irradiation. Int. J. Radiat.Oncol.Biol. Phys., 6:744-45, 1980.
 7. FOWLER, J.F. & FARMER, F.T. Conductivity induced in polytetrafluoroethylene by X-rays. Nature, 173:317-18, 1954.
 8. FOWLER, J.F. & FARMER, F.T. Conductivity induced in insulating materials by X-rays. Nature, 174: 136-37, 1954.
 9. GONÇALVES, J.F.; SOUHAMI, L.; PEREIRA, JR.,P.; CECATTI, S.G.P.; PEREIRA, E.N.; SILVA, M.P.; RODRIGUES, A.T Aspectos dosimétricos de irradiação de meio corpo. Radiol. Bras., 18(1):96-99, 1985.
 10. GROSS, B. The Compton current. Z. Physik, 155:479-87, 1959.
 11. KHAN, F.M.; WILLIAMS, J.F.; SEW CHAND, W.; KIM, T.H. Basic data for dosage calculation and compensation. Int. J. Radiat.Oncol. Biol. Phys., 6:745-51, 1980.
 12. MARTINS, H.L. Dosimetria de uma nova técnica de tratamento radio-terápico de toda superfície do corpo. São Paulo, 1984. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Univ.São Paulo).
-

13. MASSEY, J.B. Manual of dosimetry in radiotherapy. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970. (Technical report series, 110)
14. MAYBURG, S. & LAWRENCE, W.L. The conductivity change in polyethylene during γ -irradiation. J. Appl. Phys., 23(9):1006-11, 1952.
15. MEYER, R.A.; BOUQUET, F.L.; ALGER, R.S. Radiation induced conductivity in polyethylene and teflon. J. Appl. Phys., 7(9):1012-13, 1956.
16. MOTT, N.F. & GURNEY, R.W. Electronic processes in ionic crystals. 2 ed. New York, N.Y., Dover Publ., 1964.
17. QUAST, U. Dosimetry of total body irradiation: a review. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Dosimetry in radiotherapy: proceedings of a symposium held in Vienna, 31 Aug.-4 Sept., 1957. Vienna, 1958. v.2, p. 187-210.
18. SPOKAS, J.J. & MEEKER, R.D. Investigation of cables for ionization chambers. Med. Phys., 7(2):135-40, 1950.
19. SVENSSON, H. & ERAHME, A. Recent advances in electron and photon dosimetry. In: ORTON, C.G. Radiation dosimetry. New York, N.Y. Plenum, 1955. cap. 3, p. 87-170.
20. VAN DYK, J.; LEUNG, P.M.K.; CUNNINGHAM, J.R. Dosimetric considerations of very large Cobalt-60 fields. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 6:753-59, 1950.
21. WARNER, A.J.; MULLER, F.A.; NORDLIN, H.G. Electrical conductivity induced by ionizing radiation in some polymeric materials. J. Appl. Phys., 25:131, 1954.